



## Preparasi dan karakterisasi fotokatalis NaTaO<sub>3</sub> didoping ion lantanum (La/NaTaO<sub>3</sub>) dengan metode sol-gel

Husni Husin<sup>1,2</sup>

<sup>1)</sup> Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala  
Gedung Teknik Kimia Lt-2 Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis  
<sup>2)</sup> Program Magister Teknik Kimia Program Pascasarjana  
Kampus Darussalam Banda Aceh, Indonesia, 23111  
E-mail: [husni\\_husin2002@yahoo.com](mailto:husni_husin2002@yahoo.com) / [husni\\_husin@unsyiah.ac.id](mailto:husni_husin@unsyiah.ac.id)

### Abstract

Crystalline sodium tantalate doped with La<sup>3+</sup> ions (La/NaTaO<sub>3</sub>) has been successfully synthesized by sol-gel technique. The photocatalysts have been prepared by mixing of TaCl<sub>5</sub>, NaOH, and La(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·2H<sub>2</sub>O in the aqueous solution of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. The resulting materials are characterized by X-ray diffraction (XRD), Brunauer-Emmett-Teller (BET), and transmission electron microscopy (TEM) to provide useful information about crystallinity and morphology. All samples are exactly indexed as the pure NaTaO<sub>3</sub> orthorhombic structure with the space group *Pcmn*. The XRD spectra displayed a single-phase NaTaO<sub>3</sub> structure without any impurity phase, suggesting that lanthanum is uniformly incorporated into the NaTaO<sub>3</sub> lattice. TEM images indicates that the particle sizes of the La-doped NaTaO<sub>3</sub> powders are approximately 30-80 nm, while the particle sizes of the non-doped NaTaO<sub>3</sub> are around 80-250 nm. Doping lanthanum in the NaTaO<sub>3</sub> is able to prevent agglomeration, result in particle size, and better crystallinity. The La/NaTaO<sub>3</sub> crystal structures reveal that a certain amount of lattice distortion due to the La<sup>3+</sup> ions occupying the Na<sup>+</sup> sites results in the increase of crystallite size. Powder formation mechanisms for both non-doped NaTaO<sub>3</sub> and La-doped NaTaO<sub>3</sub> are proposed based on the experimental results.

Keywords: La-doped sodium tantalum oxide, photocatalyst, sol-gel, perovskite, orthorhombic

### 1. Pendahuluan

Semikonduktor natrium tantalum oksida (NaTaO<sub>3</sub>) merupakan fotokatalis yang memiliki keunikan struktur kristal berlapis terdiri dari MO<sub>6</sub> (M = Ta) bentuk oktahedral, terletak pada orbital logam d, dan memiliki tingkat energi cukup tinggi. NaTaO<sub>3</sub> merupakan suatu bahan yang bersifat ferroelektrik dan mempunyai struktur kristal *perovskite* (ABO<sub>3</sub>) seperti ditampilkan pada Gambar 1. Bentuk struktur kristal NaTaO<sub>3</sub> jauh lebih sederhana bila dibanding dengan bahan ferroelektrik lainnya.

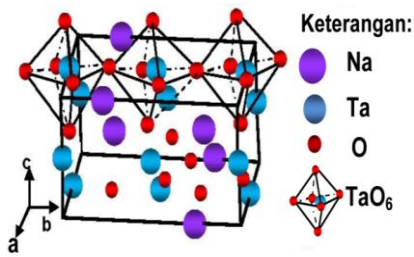
Ditinjau dari segi penggunaannya, NaTaO<sub>3</sub> sangat praktis karena sifat kimia dan mekaniknya sangat stabil, mempunyai sifat ferroelektrik pada suhu ruang sampai diatas suhu ruang. Struktur natrium tantalate biasanya berbentuk kubus (*cubic*) (Gambar 2) dan persegi panjang (*orthorhombic*) dengan sisi-sisi a, b, dan c tidak sama seperti didemonstrasikan pada Gambar 3. Pada umumnya NaTaO<sub>3</sub> yang dipreparasi pada suhu tinggi memiliki *unit cell orthorhombic* dengan *space group Pcmn*.

Atom tantalum tunggal berada pada pusat unit cell (posisi B) berikatan dalam satu koordinat oktahedral. Sementara 6 atom oksigen berada pada permukaan *octahedral* atau pada sudut runcing. Atom natrium

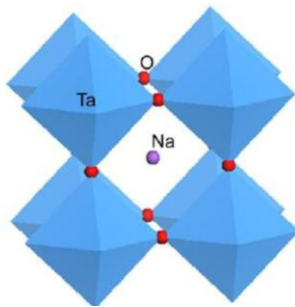
menduduki posisi A di antara *octahedral* tersebut.

Semikonduktor ini juga memiliki sifat fisik yang menarik seperti: densitas rendah, kecepatan suara tinggi dan berguna untuk aplikasi pada *ferroelectric* dan *piezoelectric* (Saito dkk., 2004). Selain itu, tantalate memiliki *conduction band* atau potential konduksi pada orbital Ta5d yang posisinya lebih negatif daripada titanat (Ti3d) atau niobate (Nb4d) (Kato dan Kudo, 1999; Kudo, 2006). Dewasa ini NaTaO<sub>3</sub> banyak diaplikasikan pada reaksi fotokatalitik dekomposisi air menjadi hidrogen (H<sub>2</sub>) sebagai energi bersih dan penguraian limbah organik menjadi H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub>.

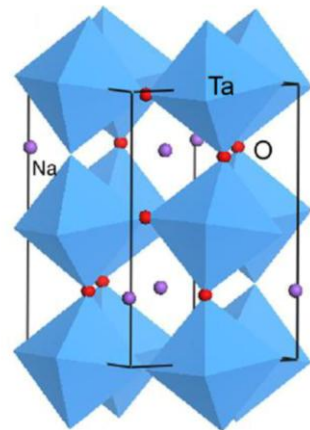
Secara tradisional NaTaO<sub>3</sub> disintesis melalui metode reaksi *solid state* logam alkali karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) dan Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pada temperatur di atas 1000°C yang mana sering menyebabkan komposisinya tidak homogen dan ukuran partikel menjadi besar. Beberapa metode lain telah dilakukan misalnya: kopresipitasi, hidrotermal, dan teknik emulsi-koloid untuk memperoleh NaTaO<sub>3</sub> yang lebih homogen, ukuran partikel lebih kecil, dan derajat kristalinitas yang tinggi. Metode sol-gel dilaporkan dapat menghasilkan material dengan ukuran partikel lebih kecil dan homogenitas yang lebih baik (Hu dkk., 2009).



**Gambar 1.** Kristal struktur *orthorhombic perovskite* NaTaO<sub>3</sub>



**Gambar 2.** Struktur kristal model polyhedron *cubic* NaTaO<sub>3</sub> (Li dkk., 2007)



**Gambar 3.** Struktur kristal model polyhedron *orthorhombic* NaTaO<sub>3</sub> (Li dkk., 2007)

Penambahan doping dapat mengontrol derajat kristalinitas dan kestabilan material meski pada suhu tinggi. Oleh karena itu, tulisan ini membahas tentang preparasi dan karakterisasi NaTaO<sub>3</sub> yang didoping ion La<sup>3+</sup> dengan metode sol-gel. NaTaO<sub>3</sub> tanpa doping juga disintesis sebagai pembandingan. Fotokatalis hasil dikarakterisasi dengan metode TEM, XRD, dan BET. Analisis dengan TEM bertujuan untuk mengevaluasi morfologi, bentuk, dan ukuran partikel material. Metode XRD dilakukan untuk mengetahui komposisi, bentuk kristal, dan derajat kristalinitas sampel (dari perhitungan ukuran kristalit dan keruncingan, serta ketinggian puncak difraktogram). Ukuran

kristalit dihitung dengan menggunakan persamaan Scherrer's. Teknik BET digunakan untuk mengukur luas permukaan NaTaO<sub>3</sub>.

## 2. Metodologi

### 2.1. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada preparasi katalis terdiri dari gelas-gelas kimia, pemanas, penyangga, cawan porselin, oven, *magnetic stirrer*, dan thermometer. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: tantalum klorida (TaCl<sub>5</sub>, 99.9%): Acros Organics, sodium hidroksida (NaOH, 99.9%): Acros Organics, La(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·2H<sub>2</sub>O 99.9%: Acros Organics, asam sitrat *anhydrous* (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>, 99.5%): Acros Organics, hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 35%): Showa Chemical Co. Ltd, dan larutan ammonia (NH<sub>4</sub>OH, 35%): Fisher Scientific, dan air suling.

### 2.2. Preparasi Katalis

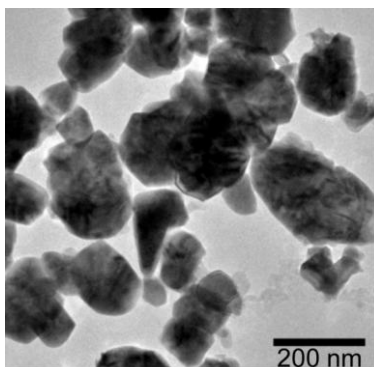
Fotokatalis La/NaTaO<sub>3</sub> disintesis melalui prosedur sol-gel menggunakan larutan hidrogen peroksida-air sebagai pelarut. Sintesis dilakukan sebagai berikut: TaCl<sub>5</sub> dilarutkan dalam hidrogen peroksida dan NaOH dilarutkan dalam aquades. Garam La(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·2H<sub>2</sub>O dilarutkan ke dalam beaker glass menurut konsentrasi yang diperlukan menggunakan air suling. Campuran diaduk dengan *magnetic stirrer* (dilambangkan: larutan I). Asam sitrat sebagai *chelating agent* dilarutkan dalam 50 ml aquades, selanjutnya diteteskan ke dalam larutan I untuk menghasilkan sol sambil diaduk terus-menerus. PH larutan diatur sampai 4 menggunakan larutan NH<sub>4</sub>OH. Campuran tersebut kemudian dipanaskan dan temperatur dipertahankan konstan pada 90°C sampai terbentuk gel putih. Gel dikeringkan dalam oven pada 110°C, selanjutnya dilakukan pre-kalsinasi pada 450°C dan akhirnya dipanaskan pada 900°C dengan dialiri udara untuk meningkatkan kristalinitas.

## 3. Hasil dan Pembahasan

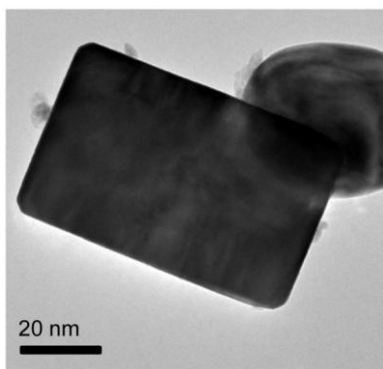
### 3.1. Bentuk dan ukuran NaTaO<sub>3</sub>

Gambar 4 menampilkan hasil analisis TEM fotokatalis NaTaO<sub>3</sub> tanpa doping. Bentuk NaTaO<sub>3</sub> tidak beraturan (*irregular shape*), seperti yang terlihat dari gambar TEM. Fenomena ini terjadi kemungkinan karena kalsinasi pada temperatur tinggi 900°C menyebabkan sampel NaTaO<sub>3</sub> teraglomerasi sehingga terjadi penggabungan partikel

membentuk ukuran yang lebih besar dan tidak teratur. Ukuran partikel  $\text{NaTaO}_3$  tanpa doping sekitar 80-250 nm.



**Gambar 4.** TEM fotokatalis  $\text{NaTaO}_3$  tanpa doping



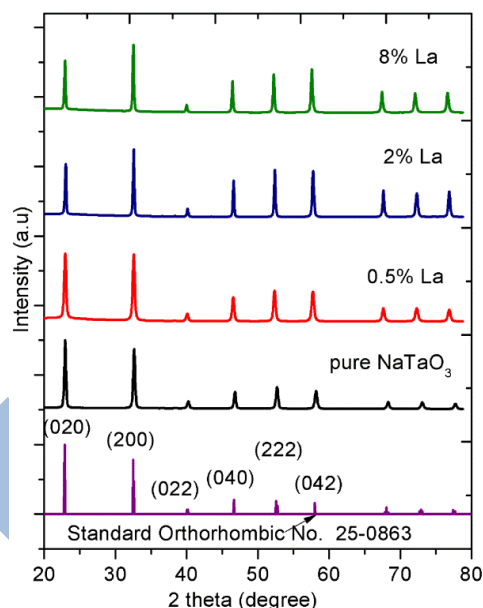
**Gambar 5.** TEM fotokatalis  $\text{La}/\text{NaTaO}_3$

Bentuk  $\text{La}/\text{NaTaO}_3$  terlihat teratur (*regular shape*) setelah ditambahkan sedikit doping ion lantanum ( $\text{La}^{3+}$ ) ke kisi  $\text{NaTaO}_3$ . Fakta ini mengindikasikan bahwa doping lantanum sangat efektif untuk menghindari aglomerasi  $\text{NaTaO}_3$  meskipun dipanaskan pada temperatur tinggi. Partikel  $\text{La}/\text{NaTaO}_3$  memiliki bentuk *orthorhombic* dengan derajat kristalinitas tinggi, terlihat dari bentuk yang teratur dan rapi. Seperti terlihat pada Gambar 5, ukuran partikel  $\text{La}/\text{NaTaO}_3$  sekitar 55 nm panjang dan lebar 40 nm. Penambahan doping lantanum menyebabkan penurunan ukuran partikel yang sangat signifikan.

### 3.2. Hasil Analisis XRD

Gambar 6 menampilkan pola difraksi sinar-X (XRD)  $\text{NaTaO}_3$  tanpa doping dan  $\text{La}/\text{NaTaO}_3$  dengan konsentrasi La 0,5; 2,0; dan 8% mol. Fotokatalis ini disiapkan dengan metode sol-gel berbantuan  $\text{H}_2\text{O}_2$  sebagai pelarut berbasis air. Pembacaan data XRD sampel dilakukan dengan cara membandingkan spectrum XRD katalis sintesis dengan spectrum senyawa standard *powder data file JCPDS (Joint Committee Powder Diffraction*

*Standard*) sesuai nomor katalog masing-masing komponen.

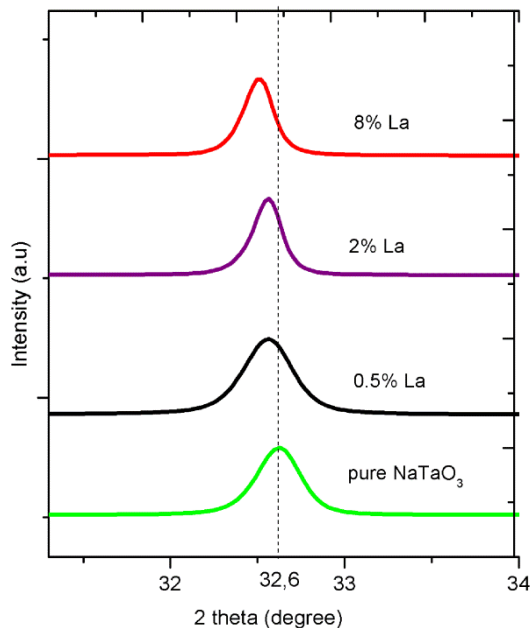


**Gambar 6.** XRD fotokatalis  $\text{La}/\text{NaTaO}_3$  (La 0,0; 0,5; 2,0; dan 8% mol)

Dari pola XRD semua difraktogram tampak jelas bahwa spektrum  $\text{La}/\text{NaTaO}_3$  sama dengan  $\text{NaTaO}_3$  tanpa doping. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan doping ion  $\text{La}^{3+}$  ke dalam kisi  $\text{NaTaO}_3$  tidak menyebabkan perubahan pada struktur kristal secara signifikan. Fakta ini juga mengisyaratkan bahwa ion  $\text{La}^{3+}$  terdispersi secara seragam pada latis nanopartikel  $\text{NaTaO}_3$ . Seluruh puncak dalam pola spektrum XRD  $\text{La}/\text{NaTaO}_3$  mengilustrasikan bentuk struktur *orthorhombic*, sesuai dengan (JCPDS No. 25-0863). Dari pola XRD tidak tampak puncak karakteristik lantanum ataupun senyawa lain sebagai impurity atau pengotor. Puncak tertinggi pada *plane* (bidang) (020) atau ( $I_{020}$ ) dan *plane* (200) atau ( $I_{200}$ ) merupakan puncak karakteristik utama fase *orthorhombic*  $\text{NaTaO}_3$ . Dari Gambar 6 juga terindikasi adanya peningkatan intensitas puncak karakteristik pada bidang 200 ( $I_{200}$ ) ketika ditambahkan doping lantanum, sementara intensitas puncak karakteristik pada bidang (020) ( $I_{020}$ ) tampak menurun. Intensitas pada *plane* (040), (222), dan (042) juga mengalami peningkatan setelah penambahan lantanum 2% dan 8% mol.

Pergeseran puncak pada  $2\theta$   $32.6^\circ$  bidang (200) disajikan pada Gambar 7. Posisi puncak pada sudut  $2\theta$   $32.6^\circ$  tampak bergeser ke sudut yang lebih rendah dengan meningkatnya jumlah doping ion  $\text{La}^{3+}$ . Pergeseran puncak tersebut karena pada

saat ion  $\text{La}^{3+}$  menempati posisi ion  $\text{Na}^+$  menyebabkan distorsi kisi  $\text{NaTaO}_3$  yang berkontribusi pada peningkatan ukuran kristalit dan luas permukaan. Kato dkk. (2003) menyatakan bahwa sebagian kecil ion lantanum menempati kisi  $\text{NaTaO}_3$  dan sebagian besar berada dekat permukaan. Hal ini memungkinkan karena radius ion  $\text{La}^{3+}$  adalah 1,36 Å dan ion  $\text{Na}^+$  1,39 Å, hampir sama satu sama lain.



**Gambar 7.** Pola XRD  $\text{La}/\text{NbTaO}_3$  menampilkan pergeseran puncak pada sudut  $2\theta$  32,6° akibat dari ion  $\text{La}^{3+}$  menduduki posisi ion  $\text{Na}^+$ .

Ukuran kristalit rata-rata  $\text{NaTaO}_3$  ditentukan dengan persamaan Scherrer's (Patterson 1939) menggunakan puncak karakteristik  $\text{NaTaO}_3$  pada bidang (200) dari spektrum XRD.

$$t = \frac{K * \lambda}{B * \cos \theta_B} \quad (1)$$

Dimana:  $t$  adalah ketebalan kristalit (nm),  $K$  adalah konstanta bergantung pada bentuk kristal,  $\lambda$  adalah panjang gelombang (nm) cahaya,  $B$  adalah lebar penuh pada setengah tinggi puncak *plane* (200) (FWHM atau luas integral dalam radian dan  $\theta_B$  adalah sudut Bragg.

Dari spektrum XRD diperoleh ukuran kristalit  $\text{NaTaO}_3$  berkisar antara 26,5–39,7 nm. Setelah penambahan doping lantanum derajat kristalinitas  $\text{NaTaO}_3$  meningkat seperti terlihat pada puncak difraktogram XRD  $\text{La}/\text{NbTaO}_3$  yang meruncing dan lebih sempit akibat dari peningkatan dan pertumbuhan kristal dari material yang

dihasilkan. Di sisi lain doping ion  $\text{La}^{3+}$  dapat menghambat aglomerasi dari  $\text{NaTaO}_3$  sehingga bentuknya lebih teratur dibanding  $\text{NaTaO}_3$  tanpa doping serta ukuran partikel lebih kecil sebagaimana disajikan dari data TEM.

**Tabel 1.** Data ukuran kristal  $\text{La}/\text{NbTaO}_3$

Doping La (% mol)	Ukuran kristalit plane (200) <sup>a</sup>	Ukuran partikel (nm) <sup>b</sup>	Luas permukaan ( $\text{m}^2\text{g}^{-1}$ ) <sup>c</sup>
0.0	27.9	80-250	2.25
0.5	26.5	30-80	3.83
2.0	39.2	30-80	4.54
8.0	39.7	30-80	4.21

<sup>a</sup> Dihitung dari gambar XRD dengan menggunakan persamaan Scherrer.

<sup>b</sup> Dihitung dari Gambar TEM.

<sup>c</sup> Dihitung dengan metode BET.

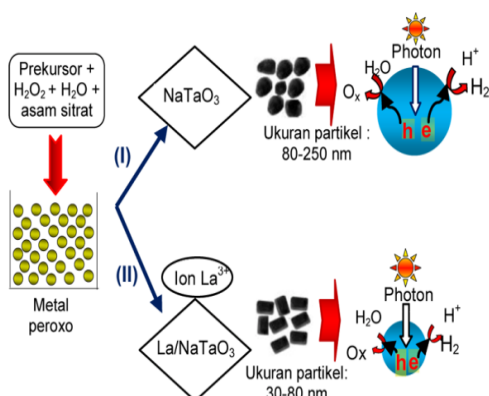
Lantanum efektif dalam mengontrol bentuk dan ukuran partikel fotokatalis meskipun dipanaskan pada suhu tinggi. Berbeda dengan ukuran partikel yang diperoleh dari TEM, maka ukuran kristalit merupakan ukuran satu partikel tunggal dari material yang dievaluasi berdasarkan data XRD serta menggunakan persamaan Scherrer's. Ukuran kristalit  $\text{La}/\text{NbTaO}_3$  berangsur meningkat dengan peningkatan lantanum, seperti terlampir dalam Tabel 1. Peningkatan ukuran kristalit  $\text{La}/\text{NbTaO}_3$  mengisyaratkan adanya pembentukan ikatan  $\text{La}-\text{O}-\text{Na}$  pada sampel yang didoping dan akibatnya terjadi pertumbuhan kristalit. Disisi lain doping ion  $\text{La}^{3+}$  dapat meningkatkan kestabilan material terhadap panas terindikasi dari bentuk yang teratur dan ukuran partikel lebih kecil (Gambar 5). Sementara luas permukaan sampel yang direkam dengan metode BET tampak tidak mengalami peningkatan yang signifikan setelah penambahan lantanum.

### 3.3. Mekanisme Pembentukan Nanopartikel $\text{NaTaO}_3$ dan $\text{La}/\text{NbTaO}_3$

Proses reaksi sol-gel adalah sebagai berikut:  $\text{TaCl}_5$  dilarutkan dalam larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  untuk membentuk larutan kompleks Ta-peroxo  $[\text{Ta}(\text{O}_2)_4]$ , dalam hal ini posisi ion klorida ditempati oleh group peroxo. Larutan natrium dan tantalum dicampur dengan larutan lantanum sambil diaduk terus-menerus hingga larutan menjadi sol transparan. Larutan kompleks metal-peroxo ditambahkan ligand asam sitrat sebagai *chelating agent*. Ligand asam sitrat berikatan dengan larutan kompleks *metallic-peroxo*, selanjutnya kation-kation membentuk *chelating complex-metallic citrate* ( $\text{COO-metallic-O}$ ). Larutan transparan tersebut



bersifat sangat stabil karena terjadi koordinasi yang kuat antara ion sitrat dan kation Na, Ta, dan La (Kong dkk., 2009).



**Gambar 8.** Skematik diagram pembentukan  $\text{NaTaO}_3$  (rute I) dan  $\text{La/NaTaO}_3$  (rute II).

Proses pembentukan gel dilakukan dengan memanaskan sol pada temperatur sekitar  $90^\circ\text{C}$  sampai diperoleh gel berwarna putih. Ukuran partikel dari sampel  $\text{NaTaO}_3$  menjadi besar akibat kalsinasi pada suhu  $900^\circ\text{C}$ . Material mengalami aglomerasi yang serius membentuk partikel yang lebih besar, seperti diperlihatkan dalam Gambar 8 (rute I). Morfologi  $\text{La/NaTaO}_3$  mendemonstrasikan bentuk yang sangat teratur dengan ukuran partikel yang lebih kecil (rute II). Perubahan morfologi dan ukuran partikel sampel mengindikasikan pengaruh penambahan ion  $\text{La}^{3+}$  menempati posisi ion  $\text{Na}^+$  dalam struktur kisi  $\text{NaTaO}_3$ . Hal ini sejalan dengan yang dilaporkan oleh (Kudo dan Maseki, 2009) bahwa hanya sebagian kecil ion  $\text{La}^{3+}$  menempati kisi  $\text{Na}^+$ , sementara sebagian besar lantanum berada dekat permukaan akibatnya pertumbuhan partikel sampel terhambat. Sampel yang memiliki ukuran lebih kecil sangat diharapkan untuk memperpendek jarak transfer elektron dari bulk material ke permukaan. Derajat kristalinitas yang tinggi berkontribusi pada efisiensi pemisahan fotogenerasi elektron ( $e^-$ ) dan hole ( $h^+$ ). Efisiensi pemisahan dan pecegahan rekombinasi antara muatan elektron ( $e^-$ ) dan hole ( $h^+$ ) merupakan faktor kunci yang perlu diperhatikan dari suatu semikonduktor baik untuk aplikasi pada dekomposisi  $\text{H}_2\text{O}$  menjadi hidrogen ( $\text{H}_2$ ) maupun pengolahan limbah organik.

#### 4. Kesimpulan

Kristalin  $\text{NaTaO}_3$  tanpa doping dan  $\text{La/NaTaO}_3$  telah disintesis melalui metode sol-gel. Dari analisis XRD menunjukkan bahwa

bentuk struktur  $\text{NaTaO}_3$  tanpa doping dan  $\text{La/NaTaO}_3$  adalah orthorhombik. Stabilitas nanopartikel  $\text{La/NaTaO}_3$  menunjukkan cukup baik terlihat dari tidak terjadi aglomerasi partikel dan bentuk yang tertur dari sampel yang dihasilkan. Selain itu, dari pola spektrum XRD juga terindikasi bahwa tidak ada pengotor yang terdeteksi dari puncak-puncak difratogram  $\text{La/NaTaO}_3$ . Ukuran partikel sampel  $\text{NaTaO}_3$  tanpa doping sekitar 80-250 dan  $\text{La/doped-NaTaO}_3$  berkisar antara 30-80 nm. Doping ion lantanum sangat berkontribusi dalam mencegah aglomerasi partikel dan meningkatkan derajat kristal  $\text{NaTaO}_3$ . Material ini dapat menjadi kandidat fotokatalis yang menjanjikan untuk berbagai aplikasi baik pengolahan limbah organik maupun dekomposisi air menjadi gas hidrogen sebagai energi bersih.

#### Daftar Pustaka

- Hu, C. C., Tsai, C.C., Teng, H. (2009) Structure characterization and tuning of perovskite-like  $\text{NaTaO}_3$  for applications in photoluminescence and photocatalysis. *Journal of the American Ceramic Society*, 92, 460-466.
- Kato, H., Asakura, K., Kudo, A. (2003) Highly efficient water splitting into  $\text{H}_2$  and  $\text{O}_2$  over lanthanum-doped  $\text{NaTaO}_3$  photocatalysts with High crystallinity and surface nano-structure. *Journal of the American Chemical Society*, 125, 3082-3089.
- Kato, H., Kudo, A. (1999) Highly efficient decomposition of pure water into  $\text{H}_2$  and  $\text{O}_2$  over  $\text{NaTaO}_3$  photocatalysts. *Catalysis Letters*, 58, 153-155.
- Kong, J. Z., Li, A.D., Zhai, Y., Gong, P., Li, H., Wu, D. (2009) Preparation, characterization of the Ta-doped  $\text{ZnO}$  nanoparticles and their photocatalytic activity under visible-light illumination. *Journal of Solid State Chemistry*, 182 2061-2067.
- Kudo, A. (2006) Development of photocatalyst materials for water splitting. *International Journal of Hydrogen Energy*, 31 197-202.
- Kudo, A., Miseki, Y. (2009) Heterogeneous photocatalyst materials for water splitting. *Chemical Society Reviews*, 38 253-278.
- Li, Z. H., Chen, G., Liu, J. W. (2007) Electron structure and optical

- absorption properties of cubic and orthorhombic  $\text{NaTaO}_3$  by density functional theory, *Solid State Communications*, 143 295-299.
- Patterson, A. L. (1939) The scherrer formula for x-Ray particle size determination. *Physical Review*, 56 978.
- Porob, D. G., Maggard, P.A. (2006) Flux syntheses of La-doped  $\text{NaTaO}_3$  and its photocatalytic activity. *Solid State Chemistry*, 179, 1727-1732.
- Saito, Y., Takao, H., Tani, T. Nonoyama, T., Takatori, K., Homma, T., Nagaya, T., Nakamura, M. (2004) Lead-free piezoceramics. *Nature* 432, 84-87.
- Yan, S. C., Wang, Z. Q., Li, Z. S., Zou, Z. G., (2009) Photocatalytic activities for water splitting of La-doped- $\text{NaTaO}_3$  fabricated by microwave synthesis. *Solid State Ionics*, 180 1539-1542.

REKAYASA